

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind energy generation systems –
Part 5: Wind turbine blades**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 5: Pales d'éoliennes**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-8335-6

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Notation.....	10
4.1 Symbols.....	10
4.2 Greek symbols.....	11
4.3 Subscripts.....	11
4.4 Coordinate systems	11
5 Design environmental conditions	12
6 Design.....	13
6.1 Structural design process.....	13
6.1.1 General requirements	13
6.1.2 Building block approach for composite structural design	13
6.1.3 General blade design process	14
6.1.4 Design loads.....	17
6.2 Blade characteristics.....	18
6.2.1 Blade properties	18
6.2.2 Functional design tolerances	18
6.3 Aerodynamic design.....	19
6.3.1 General	19
6.3.2 Aerodynamic characteristics	19
6.3.3 Power performance characterisation (informative)	20
6.3.4 Airfoil noise (informative).....	20
6.4 Material requirements	20
6.4.1 General	20
6.4.2 Material properties for blade design	20
6.4.3 Qualification of materials for manufacture	24
6.5 Design for manufacturing	25
6.5.1 General	25
6.5.2 Requirement for manufacturing tolerances.....	25
6.6 Structural design.....	26
6.6.1 General design approach.....	26
6.6.2 Structural analysis	27
6.6.3 Verification requirements	29
6.6.4 Partial safety factors for materials	30
6.6.5 Structural design verification.....	34
6.6.6 Additional failure modes	47
7 Manufacturing requirements	48
7.1 Manufacturing process.....	48
7.2 Workshop requirements	48
7.2.1 General	48
7.2.2 Workshop facilities	49
7.2.3 Material handling and storage facilities	49
7.2.4 Tools and equipment	50

7.2.5	Personnel	51
7.3	Quality management system requirements	52
7.4	Manufacturing process requirements	52
7.4.1	General manufacturing requirements	52
7.4.2	Gelcoat application to the mould	52
7.4.3	Building up the laminate	53
7.4.4	Adhesive bonding process	54
7.4.5	Curing	55
7.4.6	Demoulding	55
7.4.7	Trimming, cutting, and grinding	55
7.4.8	Surface finish	56
7.4.9	Sealing	56
7.4.10	Additional component assembly processes	56
7.4.11	Mass and balance	57
7.4.12	Manufacturing and assembly processes outside controlled environment	57
7.5	Manufacture of natural fiber-reinforced rotor blades	57
7.6	Other manufacturing processes	58
7.7	Quality control process	58
7.7.1	Manufacturing quality plan	58
7.7.2	Incoming inspection	58
7.7.3	Manufacturing and quality control records	58
7.7.4	Non-conformity process	59
7.7.5	In manufacture corrective action processes	59
7.7.6	Final manufacturing inspection and conformity review	60
7.7.7	Documentation	60
7.8	Requirements for manufacturing evaluation	61
8	Blade Installation, operation and maintenance	62
8.1	General	62
8.2	Transportation, handling and installation	62
8.3	Maintenance	63
8.3.1	General	63
8.3.2	Scheduled inspections	63
Figure 1 – Chordwise (flatwise, edgewise) coordinate system		11
Figure 2 – Rotor (flapwise, lead-lag) coordinate system		12
Figure 3 – The building block approach		13
Figure 4 – Typical process for design and analytical evaluation of blade		15
Figure 5 – Application of limit states design approach for blade verification		16
Table 1 – Typical manufacturing effects		33

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –**Part 5: Wind turbine blades****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61400-5 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
88/759/FDIS	88/767/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

A list of all parts of the IEC 61400 series, under the general title *Wind energy generation systems*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The blades of a wind turbine rotor are generally regarded as one of the most critical components of the wind turbine system. In this International Standard, a minimum set of requirements for the design and manufacturing of wind turbine blades are defined.

An approach to a structural design process for the blade is set forth in the general areas of blade characteristics, aerodynamic design, material requirements and structural design. Furthermore, in order to efficiently facilitate the transfer of a blade design to the production environment, this document includes demands for designing for manufacturing.

The requirements for structural design of the wind turbine blade have been developed in a manner to reward innovation, validation, quality and testing. Specifically, the designer will be able claim lower partial safety factors based on, among other items, the diligence of the validation of models and the correlation to testing results.

To ensure a production environment that can facilitate the manufacturing of a blade in accordance with the design, the manufacturing requirements included in this document provide a minimum basis for a quality management system and workshop requirements. In addition, requirements for blade handling, operation and maintenance are described in the close of this document.

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 5: Wind turbine blades

1 Scope

This part of IEC 61400 specifies requirements to ensure the engineering integrity of wind turbine blades as well as an appropriate level of operational safety throughout the design lifetime. It includes requirements for:

- aerodynamic and structural design,
- material selection, evaluation and testing,
- manufacture (including associated quality management),
- transportation, installation, operation and maintenance of the blades.

The purpose of this document is to provide a technical reference for designers, manufacturers, purchasers, operators, third party organizations and material suppliers, as well as to define requirements for certification.

With respect to certification, this document provides the detailed basis for fulfilling the current requirements of the IECRE system, as well as other IEC standards relevant to wind turbine blades. When used for certification, the applicability of each portion of this document should be determined based on the extent of certification, and associated certification modules per the IECRE system.

The rotor blade is defined as all components integrated in the blade design, excluding removable bolts in the blade root connection and support structures for installation.

This document is intended to be applied to rotor blades for all wind turbines. For rotor blades used on small wind turbines according to IEC 61400-2, the requirements in that document are applicable.

At the time this document was written, most blades were produced for horizontal axis wind turbines. The blades were mostly made of fiber reinforced plastics. However, most principles given in this document would be applicable to any rotor blade configuration, size and material.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-415, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 415: Wind turbine generator systems*

IEC 61400-1, *Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements*

IEC 61400-2, *Wind turbines – Part 2: Small wind turbines*

IEC 61400-3-1, *Wind energy generation systems – Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines*

IEC 61400-3-2, *Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines*

IEC 61400-23, *Wind turbines – Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades*

IEC 61400-24, *Wind energy generation systems – Part 24: Lightning protection*

ISO/IEC 17021-1, *Conformity assessment – Requirements for bodies providing audit and certification of management systems – Part 1: Requirements*

ISO 10474, *Steel and steel products – Inspection documents*

ISO 2394, *General principles on reliability for structures*

ISO 9000, *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

EN 10204, *Metallic products – Types of inspection documents*

ISO 16269-6, *Statistical interpretation of data – Part 6: Determination of statistical tolerance intervals*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	66
INTRODUCTION.....	68
1 Domaine d'application	69
2 Références normatives	69
3 Termes et définitions	70
4 Notation.....	72
4.1 Symboles	72
4.2 Symboles grecs	73
4.3 Indices	73
4.4 Système de coordonnées	73
5 Conditions d'environnement prévues à la conception.....	75
6 Conception	76
6.1 Procédé structurel de conception	76
6.1.1 Exigences générales	76
6.1.2 Approche modulaire de la conception composite structurelle	76
6.1.3 Procédé général de conception de pale	77
6.1.4 Charges théoriques	80
6.2 Caractéristiques de la pale	81
6.2.1 Propriétés de la pale.....	81
6.2.2 Tolérances fonctionnelles de conception	81
6.3 Conception aérodynamique.....	82
6.3.1 Généralités	82
6.3.2 Caractéristiques aérodynamiques	83
6.3.3 Caractérisation (informative) de la performance de puissance	83
6.3.4 Profil aérodynamique (informatif) du bruit	84
6.4 Exigences matérielles	84
6.4.1 Généralités	84
6.4.2 Propriétés matérielles pour la conception de la pale	84
6.4.3 Qualification des matériaux pour la fabrication.....	88
6.5 Conception pour la fabrication	89
6.5.1 Généralités	89
6.5.2 Exigences relatives aux tolérances de fabrication	89
6.6 Conception structurelle	90
6.6.1 Approche générale de conception	90
6.6.2 Analyse structurelle	91
6.6.3 Exigences de vérification	93
6.6.4 Facteurs partiels de sécurité relatifs aux matériaux	95
6.6.5 Vérification structurelle de la conception.....	99
6.6.6 Modes supplémentaires de défaillance	113
7 Exigences de fabrication.....	114
7.1 Procédé de fabrication	114
7.2 Exigences relatives aux ateliers	115
7.2.1 Généralités	115
7.2.2 Ateliers	115
7.2.3 Manutention des matériaux et installations de stockage.....	116
7.2.4 Outils et matériels.....	116

7.2.5	Personnel	117
7.3	Exigences relatives au système de management de la qualité	118
7.4	Exigences relatives au procédé de fabrication	119
7.4.1	Exigences générales de fabrication	119
7.4.2	Application d'enduit gélifié dans le moule	119
7.4.3	Construction du stratifié	119
7.4.4	Procédé de liaison adhésive	121
7.4.5	Durcissement	122
7.4.6	Démoulage	122
7.4.7	Ébarbage, découpe et meulage	122
7.4.8	Finition de surface	123
7.4.9	Scellage	123
7.4.10	Procédés supplémentaires d'assemblage de composants	123
7.4.11	Masse et centrage	124
7.4.12	Procédés de fabrication et d'assemblage en dehors des environnements contrôlés	124
7.5	Fabrication de pales de rotor renforcées de fibres naturelles	124
7.6	Autres procédés de fabrication	125
7.7	Procédé de contrôle de la qualité	125
7.7.1	Plan de qualité de fabrication	125
7.7.2	Examen de réception	125
7.7.3	Enregistrements de fabrication et de contrôle de la qualité	126
7.7.4	Procédé de non-conformité	126
7.7.5	Procédés de mesures correctives en cours de fabrication	127
7.7.6	Examen final de la fabrication et revue de la conformité	127
7.7.7	Documentation	128
7.8	Exigences relatives à l'évaluation de la fabrication	128
8	Installation, fonctionnement et maintenance des pales	129
8.1	Généralités	129
8.2	Transport, manutention et installation	129
8.3	Maintenance	130
8.3.1	Généralités	130
8.3.2	Examens planifiés	130
Figure 1 – Système de coordonnées dans le sens de la corde (dans le sens de la corde et dans le sens de la traînée)		74
Figure 2 – Système de coordonnées dans le sens du rotor (battement et traînée)		75
Figure 3 – Approche modulaire		76
Figure 4 – Procédé type de conception et d'évaluation analytique d'une pale		78
Figure 5 – Application d'une approche de conception d'états limites pour la vérification des pales		79
Tableau 1 – Effets types de la fabrication		98

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 5: Pales d'éoliennes

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61400-5 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
88/759/FDIS	88/767/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Les futures normes de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Le titre des normes existant déjà dans cette série sera mis à jour lors de la prochaine édition.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, publiées sous le titre général *Systèmes de génération d'énergie éolienne*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Les pales d'un rotor d'éolienne sont généralement considérées comme l'un des composants les plus importants du système éolien. La présente Norme internationale définit un ensemble minimal d'exigences concernant la conception et la fabrication des pales d'éoliennes.

Une approche de procédé de conception structurelle des pales est établie dans les domaines généraux suivants: caractéristiques des pales, conception aérodynamique, exigences matérielles et conception structurelle. En outre, afin de faciliter le transfert d'une conception de pale à l'environnement de production de manière efficace, le présent document comprend des demandes en matière de conception de fabrication.

Les exigences relatives à la conception structurelle des pales d'éoliennes ont été établies afin de récompenser l'innovation, la validation, la qualité et les essais. Le concepteur est notamment en mesure de déclarer des facteurs partiels de sécurité inférieurs d'après, entre autres, la diligence de la validation des modèles et la corrélation des résultats d'essai.

Afin d'assurer un environnement de production pouvant faciliter la fabrication d'une pale conformément à la conception, les exigences de fabrication incluses dans le présent document fournissent une base minimale pour les exigences relatives à un système de management de la qualité et aux ateliers. En outre, les exigences relatives à la manutention, au fonctionnement et à la maintenance des pales sont décrites à la fin du présent document.

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 5: Pales d'éoliennes

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 spécifie les exigences permettant d'assurer l'intégrité technique des pales d'éoliennes ainsi que le niveau approprié de sécurité fonctionnelle tout au long de la durée de vie prévue à la conception. Elle comprend des exigences concernant:

- la conception aérodynamique et structurelle,
- la sélection, l'évaluation et les essais des matériaux,
- la fabrication (y compris le management associé de la qualité),
- le transport, l'installation, le fonctionnement et la maintenance des pales.

Le présent document a pour objet de fournir une référence technique aux concepteurs, fabricants, acheteurs, opérateurs, organismes tiers et fournisseurs de matériaux, et de définir les exigences relatives à la certification.

Concernant la certification, le présent document détaille comment satisfaire aux exigences actuelles du système IECRE, ainsi que des autres normes IEC applicables aux pales d'éoliennes. Lorsqu'il est utilisé à des fins de certification, il convient de déterminer l'applicabilité de chaque partie du présent document d'après l'étendue de la certification et d'après les modules associés de certification conformément au système IECRE.

Une pale de rotor est définie comme étant l'ensemble des composants intégrés dans la conception de la pale, à l'exclusion des boulons amovibles dans le raccord du pied de pale et des structures de support en vue de l'installation.

Le présent document est destiné à être appliqué aux pales de rotor pour toutes les éoliennes. Pour les pales de rotor utilisées sur de petits aérogénérateurs conformément à l'IEC 61400-2, les exigences de ce dernier s'appliquent.

Au moment de la rédaction du présent document, la plupart des pales étaient construites pour des éoliennes à axe horizontal. Les pales étaient constituées principalement de plastique renforcé de fibres. Cependant, la plupart des principes du présent document restent applicables à toutes les configurations et tailles de pales de rotor, ainsi qu'à tous les matériaux constitutifs de ces pales de rotor.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050-415, *Vocabulaire Électrotechnique International (IEV) – Partie 415: Aérogénérateurs*

IEC 61400-1, *Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements* (disponible en anglais seulement)

IEC 61400-2, *Éoliennes – Partie 2: Petits aérogénérateurs*

IEC 61400-3-1, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 3-1: Exigences de conception des éoliennes en mer fixes*

IEC 61400-3-2, *Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines* (disponible en anglais seulement)

IEC 61400-23, *Éoliennes – Partie 23: Essais en vraie grandeur des structures des pales de rotor*

IEC 61400-24, *Wind energy generation systems – Part 24: Lightning protection* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC 17021-1, *Évaluation de la conformité – Exigences pour les organismes procédant à l'audit et à la certification des systèmes de management – Partie 1: Exigences*

ISO 10474, *Steel and steel products – Inspection documents* (disponible en anglais seulement)

ISO 2394, *General principles on reliability for structures* (disponible en anglais seulement)

ISO 9000, *Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire*

ISO 9001, *Systèmes de management de la qualité – Exigences*

EN 10204, *Produits métalliques – Types de documents de contrôle*

ISO 16269-6, *Interprétation statistique des données – Partie 6: Détermination des intervalles statistiques de dispersion*